

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-300459  
 (43)Date of publication of application : 11.10.2002

(51)Int.CI. H04N 5/232  
 G06T 5/20  
 H04N 5/21  
 // H04N101:00

(21)Application number : 2001-098158

(71)Applicant : MINOLTA CO LTD

(22)Date of filing : 30.03.2001

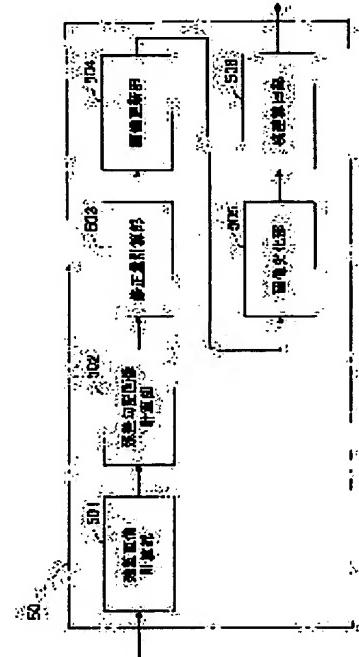
(72)Inventor : NAKANO YUSUKE  
 SUMITOMO HIRONORI

**(54) IMAGE RESTORING DEVICE THROUGH ITERATION METHOD, IMAGE RESTORING METHOD AND ITS PROGRAM, AND RECORDING MEDIUM**

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an image restoring device and a method to be executed by an iteration method, capable of restoring a deteriorated image, without searching the inverse matrix of a large-scaled matrix, and realizing the reduction of memory consumption and the shortening of a calculating time at image restoration.

**SOLUTION:** This device is provided with a means 202 for calculating the inverted filter of an image deterioration filter, a means 502 of calculating a residual pitch image from the superimposing arithmetic operation of the image deterioration filter, and a residual image, obtained from the predicted image of a restored image and the deteriorated image and the inverted filter, a means 503 for calculating the correction quantity of the predicted image from the residual pitch image; and a means 504 for correcting and updating the predicted image from the correction quantity. Thus, even when deterioration function indicated by a complicated spiral filter is present, reduction of memory consumption or the shortening of a calculating time can be realized, as compared with a device depending on the inverse matrix of a large-scaled matrix.



**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-300459  
(P2002-300459A)

(43) 公開日 平成14年10月11日 (2002.10.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト <sup>8</sup> (参考)
H 04 N 5/232		H 04 N 5/232	Z 5 B 0 5 7
G 06 T 5/20		G 06 T 5/20	J 5 C 0 2 1
H 04 N 5/21		H 04 N 5/21	B 5 C 0 2 2
// H 04 N 101:00		101:00	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O.L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-98158(P2001-98158)

(71) 出願人 000006079

(22) 出願日 平成13年3月30日 (2001.3.30)

ミノルタ株式会社  
大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号  
大阪国際ビル

(72) 発明者 中野 雄介

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号  
大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

(72) 発明者 盛友 博則

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号  
大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

(74) 代理人 100099885

弁理士 高田 健市 (外1名)

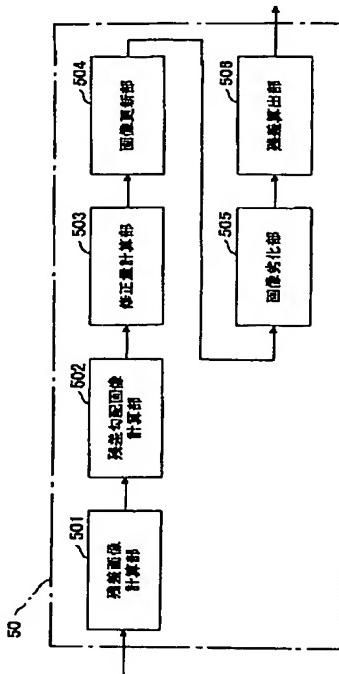
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反復法による画像復元装置、画像復元方法、プログラム及び記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 大規模行列の逆行列を求める必要ないでも劣化画像を復元でき、しかも、画像復元でのメモリ消費量の低減および計算時間の短縮化を図ることができる、反復法による画像復元装置及び復元方法を提供する。

【解決手段】 画像劣化フィルタの転置フィルタを計算する手段502と、画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像とから求められた残差画像と前記転置フィルタの畳み込み演算から残差勾配画像を計算する手段503と、残差勾配画像から予測画像の修正量を計算する手段504と、修正量から予測画像を修正し更新する手段505とを備える。これにより、複雑な螺旋フィルタで表せるような劣化関数を持っている場合でも、大規模行列や逆行列に依存するものに比較して、メモリ消費量の低減化および計算時間の短縮化を図ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 画像劣化フィルタの転置フィルタを計算する転置フィルタ計算手段と、  
画像劣化フィルタの転置フィルタを記憶するフィルタ記憶手段と、  
画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像から残差画像を計算する残差画像計算手段と、  
転置フィルタと残差画像との畳み込み演算を用いて残差の勾配画像を計算する残差勾配画像計算手段と、  
残差の勾配画像を用いて予測画像の修正量を計算する修正量計算手段と、  
修正量を用いて予測画像を修正し更新する画像更新手段と、  
を備えていることを特徴とする反復法による画像復元装置。

【請求項2】 前記残差勾配画像計算手段は、画像の境界部分に対して異なる転置フィルタを用いてなる請求項1に記載の反復法による画像復元装置。

【請求項3】 前記境界部分における転置フィルタは、劣化領域からはみ出した部分を零にしてなる請求項2に記載の反復法による画像復元装置。

【請求項4】 画像劣化フィルタの転置フィルタを計算する転置フィルタ計算ステップと、  
画像劣化フィルタの転置フィルタを記憶するフィルタ記憶ステップと、  
画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像から残差画像を計算する残差画像計算ステップと、  
転置フィルタと残差画像との畳み込み演算を用いて残差の勾配画像を計算する残差勾配画像計算ステップと、  
残差の勾配画像を用いて予測画像の修正量を計算する修正量計算ステップと、  
修正量を用いて予測画像を修正し更新する画像更新ステップと、  
を備えたことを特徴とする反復法による画像復元方法。

【請求項5】 画像劣化フィルタの転置フィルタを計算する転置フィルタ計算ステップと、  
画像劣化フィルタの転置フィルタを記憶するフィルタ記憶ステップと、

画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像から残差画像を計算する残差画像計算ステップと、  
転置フィルタと残差画像との畳み込み演算を用いて残差の勾配画像を計算する残差勾配画像計算ステップと、  
残差の勾配画像を用いて予測画像の修正量を計算する修正量計算ステップと、  
修正量を用いて予測画像を修正し更新する画像更新ステップと、

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項6】 請求項5に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する分野】この発明は、デジタルカメラ等で撮像した画像に生じた画像劣化の情報すなわち劣化関数を取得した上で、劣化を受けた撮像画像から反復法により劣化前画像（復元画像）を推定する画像復元装置、及び画像復元方法、プログラム並びに記録媒体に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、CCDに代表される受光素子配列体を用いて画像データとして取得される画像に対し、画像の劣化を復元する様々な技術が提案されている。画像の劣化とは、撮像対象から得られるべき理想的な画像に対して実際に得られた画像が劣化していることをいい、たとえば、デジタルカメラを用いて得られる画像は、絞り値、焦点距離、ピント位置などに依存する収差などの他に、撮影の際の手ぶれによっても画像が劣化する。

【0003】このような劣化した画像に対して、従来より、画像の劣化をモデル化することで取得された撮像画像を理想的な画像に近づける復元が行われてきた。

【0004】画像復元を行う際、画像をラスタ順序で画素値を縦に並べたベクトル、劣化関数を行列とみなして、連立一次方程式の求解の問題に帰着されることが多い。すなわち、復元したい画像をX、劣化行列をH、取得画像をYとすると、「数1」式の関係を満たすことができる。

## 【0005】

## 【数1】

$$HX = Y$$

【0006】あるいは、撮像画像Yはノイズを含んだ画像であり、劣化行列Hにも観測誤差や離散化誤差を含むことが普通であり、「数2」式によって解の存在が保証された最小二乗解を求める。

## 【0007】

## 【数2】

$$H^T H X = H^T Y$$

【0008】一般に、劣化行列Hも  $H^T H$  も共に大規模疎行列になる。

【0009】ところで、一方向ぶれなど簡単な劣化関数の場合、ぶれ方向の画素列に対して独立に方程式を立て、ぶれ行列の逆行列を直接計算して解を得ることができる。

【0010】たとえば、特開平6-118468号では、斜めぶれの場合、画像配列の方向をぶれ方向へ合わせることにより、水平もしくは垂直ぶれの問題に帰着することが提案されている。その際、復元画像の境界部分に微分の連続性が保存されるような逆行列を求めることも示されている。

## 【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところが、実際の手ぶ

れで発生する劣化関数の中には、たとえば、図16に示すように複雑な螺旋フィルタで表されるような劣化関数も現れる。これは夜景などを撮影する場合、どうしても露光時間が長くなり、シャッタースピードが遅くなる時に生じる。図16の劣化フィルタは、焦点距離35mm(135mm換算)、シャッタースピード1/3の撮影条件で生じると推定される画像劣化情報を2次元フィルタに変換したものである。

【0012】このような劣化関数の場合、大型行列Hや $H^T H$ の逆行列を求めるることは容易ではなく、一般に行列の疎構造を利用して反復法が用いられる事になる。なお、反復法による画像復元処理の原理は、たとえば、文献「M.Elad and A.Feuer; Super-Resolution of An Image Sequence-Adaptive Filtering Approach; Technion-Israel Institute of Technology, 4 April 1997」に記載されている。

【0013】反復法の中には、ヤコビ法、ガウスザイデル法、SOR法、最急降下法、共役勾配法などがある。

【0014】しかし、いずれの方法でも、反復毎に行列Hから $H^T$ を参照するためメモリ消費量が多くなるうえ、計算のために多大な時間が費やされてしまう。

【0015】この発明は、上記問題を解消するためになされたものであり、大規模行列の逆行列を求めないでも劣化画像を復元でき、しかも、復元処理におけるメモリ消費量の低減化および計算時間の短縮化を図ることができる、反復法による画像復元装置および画像復元方法を提供し、さらにはこのような画像復元方法をコンピュータに実行させるプログラム及び該プログラムを記録した記録媒体を提供することを課題とする。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】上記課題は、画像劣化フィルタの転置フィルタを計算する転置フィルタ計算手段と、画像劣化フィルタの転置フィルタを記憶するフィルタ記憶手段と、画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像から残差画像を計算する残差画像計算手段と、転置フィルタと残差画像との畳み込み演算を用いて残差の勾配画像を計算する残差勾配画像計算手段と、残差の勾配画像を用いて予測画像の修正量を計算する修正量計算手段と、修正量を用いて予測画像を修正し更新する画像更新手段とを備えていることを特徴とする反復法による画像復元装置によって解決される。

【0017】この発明によれば、画像劣化フィルタの転置フィルタを計算しておき、画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像とから求められた残差画像と前記転置フィルタの畳み込み演算から残差勾配画像が求められ、残差勾配画像を用いて計算された予測画像の修正量から予測画像の修正更新が行われる。

【0018】反復法を用いた画像復元装置において、上記のような修正更新された画像を用いるので、たとえばデジタルカメラの手ぶれなどに起因する劣化画像の復元

が実現されるうえ、前記フィルタ演算で置き換えることから、複雑な螺旋フィルタで表せるような劣化関数を持っている画像画像を復元する場合でも、大規模行列や逆行列に依存して計算を行うよりも、メモリ消費量が少なくなるとともに、計算時間が大幅に短縮される。

【0019】上記復元装置において、残差勾配計算手段は画像の境界部分に対して異なる転置フィルタを用いてもよい。これにより、復元画像のエッジ近傍などで発生するリングングなどのノイズの発生が抑制される。

【0020】この場合、前記境界部分における転置フィルタは、劣化領域からはみ出した部分が零に設定されていても良い。

【0021】また、前記課題は、画像の劣化を復元する際に、画像劣化フィルタの転置フィルタを計算する転置フィルタ計算ステップと、画像劣化フィルタの転置フィルタを記憶するフィルタ記憶ステップと、画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像から残差画像を計算する残差画像計算ステップと、転置フィルタと残差画像との畳み込み演算を用いて残差の勾配画像を計算する残差勾配画像計算ステップと、残差の勾配画像を用いて予測画像の修正量を計算する修正量計算ステップと、修正量を用いて予測画像を修正し更新する画像更新ステップと、を備えた反復法による画像復元方法によっても解決される。

【0022】この画像復元方法では、少ないメモリ消費でかつ短時間で劣化画像の復元が行える。

【0023】また、前記課題は、画像劣化フィルタの転置フィルタを計算する転置フィルタ計算ステップと、画像劣化フィルタの転置フィルタを記憶するフィルタ記憶ステップと、画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像から残差画像を計算する残差画像計算ステップと、転置フィルタと残差画像との畳み込み演算を用いて残差の勾配画像を計算する残差勾配画像計算ステップと、残差の勾配画像を用いて予測画像の修正量を計算する修正量計算ステップと、修正量を用いて予測画像を修正し更新する画像更新ステップと、をコンピュータに実行させるためのプログラムによっても解決され、また、このプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体によっても解決される。

【0024】これらのプログラムや記録媒体では、前記復元処理をコンピュータに実行させることができる。

#### 【0025】

【発明の実施形態】以下、この発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0026】図1は、この発明の実施形態にかかる画像復元装置が適用されたデジタルカメラを示す外観斜視図であり、また、図2は、同デジタルカメラの背面図である。

【0027】図1、図2において、デジタルカメラ10の前面には、撮影レンズ12、ファインダ窓15および

測距窓101などが設けられており、デジタルカメラ10の内部には、上記撮影レンズ12による光学像を受光して光電変換する撮像素子の一例としてのCCD13が配設されている。そして、撮影レンズ12、CCD13を含んで撮像手段が構成されている。

【0028】さらに、デジタルカメラ10の上面には、レリーズ(シャッター)ボタン14、撮影モード設定キー18および液晶パネル19などが設けられている。デジタルカメラ10の側面には、メモリカード等の記録メディア16を挿脱可能な挿入口17が設けられている。

【0029】撮影モード設定キー18は、液晶パネル19の表示内容を見ながら、絞り優先、シャッタースピード優先などの露光条件の設定、マクロ撮影の切替え、さらには、ズームの設定などを行う際に用いられる。

【0030】また、デジタルカメラ10の背面には、図2に示すように、ライブビュー表示用の液晶モニタ103および画像処理設定キー102などが設けられている。画像処理設定キー102では液晶モニタ103と併せて、画像復元処理の必要性の判断ができるようになっている。本デジタルカメラ10は、通常のデジタルカメラと同様に、CCD13で撮像した画像を普通に記録メディア16に記録することができる。これ以外に、画像復元処理機能を有している。この機能は、取得した劣化関数からデジタルカメラ10が自動で機能をさせるようになっている。もちろん、画像復元処理前に画像処理設定キー102でデジタルカメラ10がユーザに画像復元処理の必要性を判断させるようにしても構わない。

【0031】図3はデジタルカメラ10のブロック図で、細矢印は制御データの、太矢印は画像データのそれぞれ流れを示している。

【0032】40はCPUであり、シャッターボタン14が押された際の撮影条件、画像処理設定キー102の設定状態などを記憶するとともに、露光条件などを液晶パネル19に表示させる。さらに、CPU40は、測距部44からの測距結果に基づいて撮影レンズ駆動部46を介して適当な被写体に合焦するよう撮影レンズ12を駆動する一方、絞り駆動部47を介して絞り48を制御する。

【0033】また、CCD13からのアナログ画像信号は、A/Dコンバータ41でデジタル画像データに変換され、画像メモリ(RAM)42に一時記憶され、記憶された画像データは、CPU40の制御により液晶モニタ103に表示される。

【0034】50は、撮像した画像を復元処理する画像復元部であり、復元の必要がある場合にRAM42に記憶されている画像を復元する。詳細は後述する。

【0035】52は、手ぶれセンサ104などから得た画像劣化情報を入手する画像劣化情報部であり、図4に示すように、画像劣化フィルタの転置フィルタを記憶する転置フィルタ記憶部201と、画像劣化フィルタの転

置フィルタを計算する転置フィルタ計算部202とを備えている。

【0036】CPU40は、復元処理を行わないときは、RAM42から読み出された画像データを記録メディア16に記憶させ、復元処理を行うときは画像復元部で復元された画像を記録メディア16に記憶させる。

【0037】前記画像復元部50は、機能的には図5に示すように、残差画像計算部501と、残差勾配画像計算部502と、修正量計算部503と、画像更新部504と、画像劣化部505と、残差算出部506とを備えている。

【0038】残差画像計算部501は、前記画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像から残差画像を計算するものであり、残差勾配画像計算部502は、前記転置フィルタと残差画像との畳み込み演算を用いて残差の勾配画像を計算するものである。修正量計算部503は、残差の勾配画像を用いて画像の修正量を計算するものであり、また、画像更新部504は、修正量を用いて復元画像の予測画像を修正し更新するものである。画像劣化部505は、画像更新部504で更新された画像を撮像時の劣化関数を用いて劣化させ、前記残差算出部506は、劣化された画像と撮像画像との残差を算出する。

【0039】前記CPU40は、残差算出部506で算出した残差が所定の閾値を下回っているか否かを判定し、下回っていないければ更新後の画像を新たな処理対象(予測画像)として残差画像計算部501に入力し、残差勾配画像計算部502、修正量計算部503、画像更新部504による画像の修正更新処理、画像劣化部505による画像の劣化、残差算出部506による残差の算出の各処理を、残差が所定の閾値を下回るまで繰り返させる。そして、残差が所定の閾値を下回ったときに、対応する更新画像(予測画像)を復元画像として記憶メディア16に記憶させる。

【0040】デジタルカメラ10による撮影及び復元処理は次のようにして行われる。すなわち、まず、ユーザは撮影モード設定キー18で、絞り優先、シャッタースピード優先等の選択を行う。カメラの設定が終わるとユーザは被写体を確認してシャッターボタン14を押す。すると、測距部44で被写体距離を測定する。続いて、測距結果に基づいて、撮影レンズ駆動部46を通して適当な被写体に合焦させるよう撮影レンズ12を駆動し、次いで、絞り駆動部47を通して絞り48を適当な値に設定する。そして、CCD13を積分し、画像データを読み出す。読み出された画像データは、バイオペイント方式で、A/Dコンバータ41でデジタルデータに変換され、RAM42に一時記憶される。

【0041】手ぶれセンサ104等から得た画像劣化情報は、画像劣化情報部52のフィルタ記憶部201に記憶しておく。

【0042】続いて、画像復元部50でRAM42に記憶された撮像画像を用いて画像復元処理を行う。

【0043】復元処理の内容を図6のフローチャートに示す。以下の説明及び図面では、ステップを#で示す。

【0044】画像復元部50はまず、#11で、RAM42に記憶された撮像画像（以下、採取画像ともいう）から画像復元処理に必要な劣化前画像（以下、初期画像という）を作成する。初期画像の作成については、たとえば、ぼけのようにシャープエッジが劣化している場合は、エッジ強調フィルタリングを行う方法が採用される

$$D_0 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |Y(i, j) - h * X_0(i, j)|^2$$

$i, j$  : 自然数、 $M$  : 縦の画素数、 $N$  : 横の画素数

【0047】なお、「数3」式において、「\*」はたたみ込み演算を表している。

【0048】次に、#13で、初期画像 $X_0(i, j)$ をRAM42に一時記憶しておく。

【0049】残差算出後、#14で、RAM42に一時記憶された初期画像 $X_0(i, j)$ 、撮影時に得られた劣化フィルタ $h$ 、採取画像 $Y(i, j)$ とから、画像修

$$D_n = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |Y(i, j) - h * X_n(i, j)|^2$$

$n$  : 反復回数 ( $n = 1, 2, \dots$ )、 $i, j$  : 自然数、 $M$  : 縦の画素数、 $N$  : 横の画素数

【0052】残差 $D_1$ の算出後、#16で、以下に示す数5の関係が成り立つか否か、つまり残差 $D_1$ の収束があるか否かを判断する。

【0053】

【数5】

$$D_n < K, n = 1, 2, \dots$$

$K$  は、十分小さな定数。

【0054】残差 $D_1$ の収束がなければ（#16の判定がNO）、2回目の反復計算を行うために、#13に戻り、RAM42に一時記憶されていた初期画像 $X_0(i, j)$ を削除して、更新された更新画像 $X_1(i, j)$ をRAM42に一時記憶する。RAM42に一時記憶された更新画像 $X_1(i, j)$ と、撮影時に得られた劣化フィルタ $h$ と、採取画像 $Y(i, j)$ とから画像修正を行い、更新画像 $X_1(i, j)$ を更新して新しい更新画像 $X_2(i, j)$ を作成する（#14）。

【0055】先と同様に更新画像 $X_2(i, j)$ と、劣化フィルタ $h$ と、採取画像 $Y(i, j)$ とから前述の「数4」式を用いて残差 $D_2$ を算出し（#15）、算出された残差 $D_2$ について、「数5」の関係から残差 $D_2$ の収束があるか否かを判断する（#16）。残差 $D_2$ の収束がなければ再度、#13に戻って同様の手順を繰り返す。

【0056】残差の収束があれば（#16の判定がYES）、#17では、RAM42に記憶されている更新

が、何の処理も行わずに取得画像をそのまま初期画像としても構わない。

【0045】初期画像作成後、#12で、初期画像 $X_0(i, j)$ を、撮影時に得られたフィルタ記憶部201にある劣化フィルタ $h$ を用いて劣化させ、次の「数3」式から採取画像 $Y(i, j)$ との差（残差 $D_0$ ）を算出する。

【0046】

【数3】

正を行い、初期画像 $X_0(i, j)$ を更新して新しい画像（更新画像） $X_1(i, j)$ を作成する。

【0050】ついで、#15で、 $X_1(i, j)$ と、劣化フィルタ $h$ と、採取画像 $Y(i, j)$ とから次の「数4」式により残差 $D_1$ を算出する。

【0051】

【数4】

画像 $X_{n-1}(i, j)$ を復元画像として、リターンする。

【0057】前記画像修正処理（#14）のサブルーチンを図7に示す。

【0058】図7において、#21では、現在の更新画像 $X_n(i, j)$ と、フィルタ記憶部201に記憶された劣化フィルタ $h$ と、採取画像 $Y(i, j)$ とを用いて「数6」式により残差画像 $R(i, j)$ を計算する。

【0059】

【数6】

$$R(i, j) = (X_n * h - Y)(i, j)$$

【0060】この後、#22では、残差画像 $R(i, j)$ とフィルタ記憶部201に記憶されている転置フィルタ $h'$ との畳み込み演算によって勾配画像 $G(i, j)$ を次の「数7」式により計算する。

【0061】

【数7】

$$G(i, j) = (R * h')(i, j)$$

【0062】この時、畳み込み演算を行う転置フィルタは、劣化画像の境界部分で異なる形のものを採用する。このように画像の境界部分では、異なる転置フィルタを用いることにより、復元画像のエッジ近傍などで発生するリングングなどのノイズの発生が抑制される。

【0063】ここで、たとえば、図8に示すサイズ7\*

7の元画像が、図11に示すサイズ3\*3の劣化フィルタで劣化して、図9に示す6\*6の採取画像になった場合を例にして説明する。

【0064】たとえば、図10の充填フィルタ領域では、図12(A)に示す転置フィルタAを用いる。一方、図9のY1の画素に対しては、図12(B)に示す転置フィルタBを用い、図8のX1の画素に対しては、図12(C)に示す転置フィルタCを採用する。すなわち、図8の元画像領域X1からX49までの位置で、転置フィルタAと畳み込み演算を行う際、図9の劣化領域(Y1からY25)から外れる部分は零とする。

【0065】このように転置フィルタAにより、劣化領域からはみ出した部分が零になると、非復元領域の画像が悪影響を受けることがない。

【0066】この後、#23では、前記#22で得られた勾配画像G(i,j)を用いて、修正画像を計算する。

【0067】修正画像とは、現在の更新画像に対する画素毎の更新値を示すものであり、採用するアルゴリズムにより様々な計算法を考えられる。一例として、元画像がエッジ近傍以外で滑らかな画像であると仮定すると、最急降下法を用いて「数8」式、「数9」式により修正画像D(i,j)を計算する。

【0068】

【数8】

$$D(i, j) = k(\beta \Delta * (V * (\Delta * X_n)) + G)(i, j)$$

kはステップサイズと呼ばれ、

【0069】

【数9】

$$k = -\frac{\|\beta \Delta * (V * (\Delta * X_n)) + G\|^2}{\beta \|\Delta X_n\|_v^2 + \|H X_n\|^2}$$

【0070】但し、 $\|\cdot\|^2$ は、画像の各画素値の二乗和、

【0071】

【数10】

$$\|\cdot\|_v^2$$

【0072】は、Vによる重みつき二乗和を表しており、Vは要請する滑らかさの程度を表す重み画像である。さらに、△はラプラシアンフィルタと呼ばれる2階の偏微分作用素である。またβは、滑らかさの程度を表すパラメータであり、たとえば、0.1などにすればよい。

【0073】修正画像が決定すると、#24では、現在の更新画像、換言すれば復元画像の現在の予測画像Xn(i,j)に修正画像D(i,j)を加えて新たな更新画像Xn+1(i,j)とする。

【0074】すなわち、Xn+1(i,j) = Xn(i,

j) + D(i,j)となる。

【0075】こうして、修正した更新画像を用いて、反復計算を行うことにより、手ぶれなどに起因する劣化画像の復元が行える。しかも、前記フィルタ演算で置き換えることから、複雑な螺旋フィルタで表せるような劣化関数を持っている場合でも、大規模行列や逆行列を考慮して演算するものに比較して、メモリ消費量が少なくなるとともに、計算時間が大幅に短縮される。

【0076】ところで、前記転置フィルタ計算部202において、転置フィルタは、以下のようにして計算される。

【0077】図8に示す元画像を縦ベクトルに直すと、図15に示すようになる。

【0078】図11に示された劣化フィルタhを行列に直すと、図13に示すようなブロック3重対角行列Hになる。また、各ブロックA, B, C自体も3重対角行列であり、ネスト構造になっている。

【0079】したがって、上記ブロック3重対角行列Hの転置行列H<sup>T</sup>を計算すると、図14に示すようになる。この転置行列H<sup>T</sup>の構造から図12に示すような転置フィルタの形を正確に求めることができる。

【0080】なお、以上の説明では、画像の復元をデジタルカメラ10で行うものとして説明したが、デジタルカメラ等で撮像した画像を、コンピュータ等の外部機器により復元しても良い。この場合、図6、図7のプログラムがネットワークや記録媒体を介してコンピュータに読み込まれ、コンピュータ上で実行される。

【0081】

【発明の効果】以上のように、この発明は、画像劣化フィルタの転置フィルタを計算しておき、画像劣化フィルタと復元画像の予測画像と劣化画像とから求められた残差画像と前記転置フィルタの畳み込み演算から残差勾配画像を求め、残差勾配画像を用いて計算された予測画像の修正量から予測画像の修正更新を行うようにし、これを用いて反復法により画像を復元するから、たとえばデジタルカメラの手ぶれなどに起因する劣化画像の復元が実現されるうえ、前記フィルタ演算で置き換えることから、複雑な螺旋フィルタで表せるような劣化関数を持っている場合でも、メモリ消費量を少なくなるできるとともに、復元処理用の計算時間を短縮できる。

【0082】また、この発明に係るプログラムあるいは該プログラムを記録した記録媒体によれば、上記のような復元処理をコンピュータに実行させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施形態にかかる画像復元装置が適用されたデジタルカメラを示す外観斜視図である。

【図2】同じくデジタルカメラの背面図である。

【図3】同じくデジタルカメラの電気的構成を示すブロック図である。

【図4】同じくデジタルカメラにおける画像劣化情報部

の構成を示すブロック図である。

【図5】同じくデジタルカメラにおける復元部の機能的構成を示すブロック図である。

【図6】同じくデジタルカメラの画像の復元処理を示すフローチャートである。

【図7】画像修正のサブルーチンを示すフローチャートである。

【図8】元画像領域を表す図である。

【図9】劣化画像領域を表す図である。

【図10】充填転置フィルタ領域を表す図である。

【図1.1】省化フィルタを表す図である。

【図1-2】転置フィルタA～Cを表す図である

【図1.3】省化フィルタの行列を表す図である

【図】リテラル化／リテラル化の序列を表す図である。

【図14】劣化行列の配置行列を表す図である。

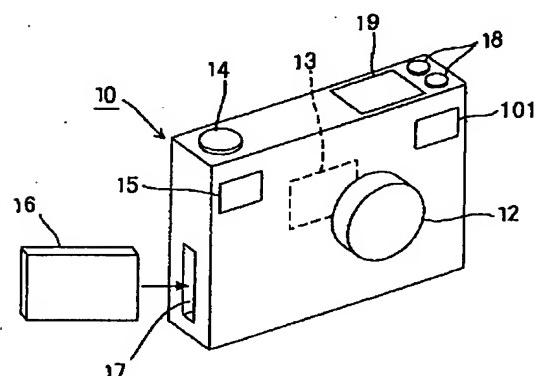
【図15】図8の元画像を縦ベクトルに変換した図である。

【図16】螺旋フィルタのような劣化関数を表す図である。

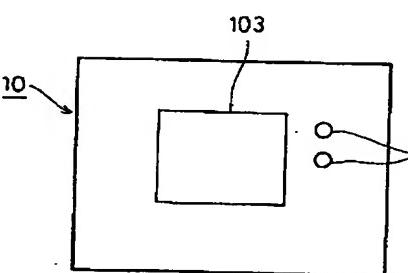
### 【符号の説明】

- |     |                 |
|-----|-----------------|
| 10  | デジタルカメラ（画像復元装置） |
| 201 | フィルタ記憶手段        |
| 202 | 転置フィルタ計算手段      |
| 501 | 残差画像計算部         |
| 502 | 修正量計算部          |
| 504 | 画像更新部           |

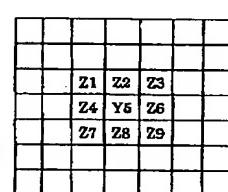
(図1)



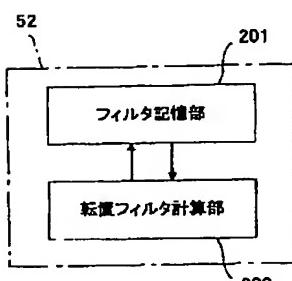
〔圖2〕



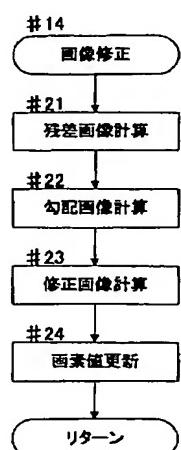
【図10】



〔図4〕

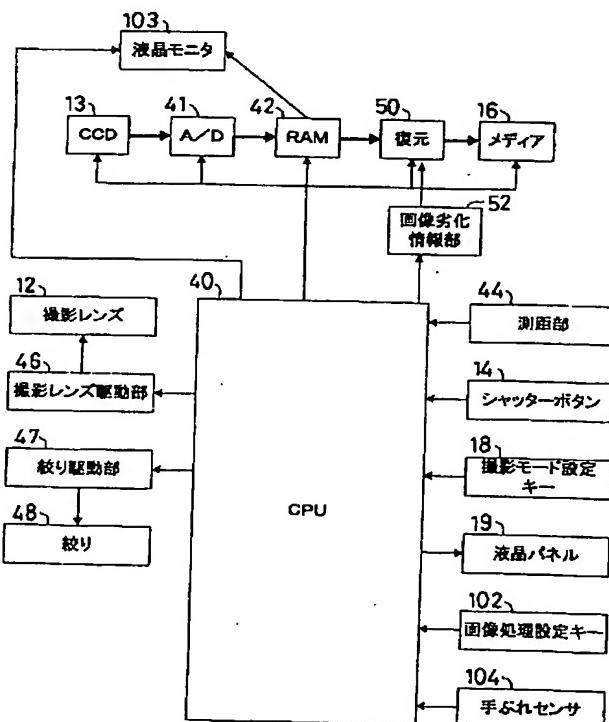


【图7】

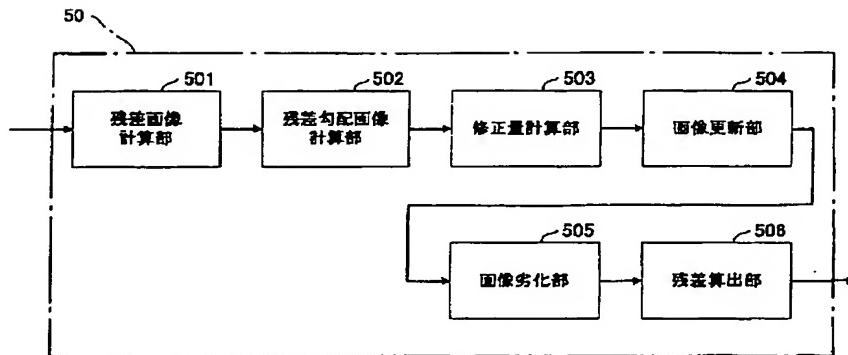


〔图8〕

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28
X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35
X36	X37	X38	X39	X40	X41	X42
X43	X44	X45	X46	X47	X48	X49



【図5】



【図9】

Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
Y11	Y12	Y13	Y14	Y15
Y16	Y17	Y18	Y19	Y20
Y21	Y22	Y23	Y24	Y25

【図11】

A	B	C
D	E	F
G	H	I

(A)

I	H	G
F	E	D
C	B	A

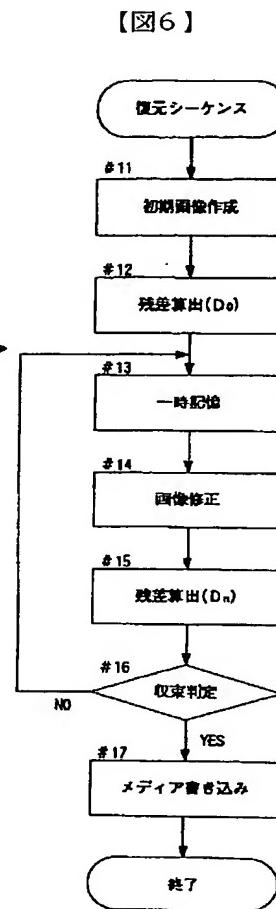
(B)

0	0	0
0	E	D
0	B	A

【図14】

0	0	0
0	0	0
0	0	A

(C)



【図13】

$$H^T = \begin{pmatrix} A^T & & \\ B^T & A^T & \\ C^T & B^T & A^T \\ & C^T & B^T & A^T \\ & C^T & B^T & A^T \\ & C^T & B^T & C^T \end{pmatrix}$$

但し、

$$A = \begin{pmatrix} a & b & c \\ a & b & c \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} d & e & f \\ d & e & f \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} g & h & i \\ g & h & i \end{pmatrix}$$

【図16】

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	28	22	0	0	0	15	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	8	15	0	5	12	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	3	0	17	8	18	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	28	16	0	0	18	17	31	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	22	0	0	3	14	0	0
0	28	29	30	0	0	23	0	2	18	0	0	18	0	0	0	0	0	0
0	22	0	21	0	0	10	19	19	3	12	17	2	0	0	0	0	0	0
0	21	0	18	0	0	0	0	30	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0
0	6	20	20	0	0	3	18	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	7	20	17	15	14	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

フロントページの続き

F ターム(参考) 5B057 CC01 CE06 CH09  
5C021 PA78 XB11 YA00  
5C022 AA13 AB55

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] A transposition filter count means to calculate the transposition filter of an image degradation filter, A filter storage means to memorize the transposition filter of an image degradation filter, and a remainder image count means to calculate a remainder image from an image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and a degradation image, A remainder inclination image count means to calculate the inclination image of the remainder using the convolution operation of a transposition filter and a remainder image, Image restoration equipment by the repeating method characterized by having an amount count means of corrections to calculate the amount of corrections of a prediction image using the inclination image of the remainder, and a renewal means of an image to correct and update a prediction image using the amount of corrections.

[Claim 2] Said remainder inclination image count means is image restoration equipment by the repeating method according to claim 1 which comes to use a different transposition filter to the boundary part of an image.

[Claim 3] The transposition filter in said boundary part is image restoration equipment by the repeating method according to claim 2 which comes to make the part overflowing from a degradation field into zero.

[Claim 4] The transposition filter count step which calculates the transposition filter of an image degradation filter, The filter storage step which memorizes the transposition filter of an image degradation filter, The remainder image count step which calculates a remainder image from an image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and a degradation image, The remainder inclination image count step which calculates the inclination image of the remainder using the convolution operation of a transposition filter and a remainder image, The image restoration approach by the repeating method characterized by having the amount count step of corrections which calculates the amount of corrections of a prediction image using the inclination image of the remainder, and the renewal step of an image which corrects and updates a prediction image using the amount of corrections.

[Claim 5] The transposition filter count step which calculates the transposition filter of an image degradation filter, The filter storage step which memorizes the transposition filter of an image degradation filter, The remainder image count step which calculates a remainder image from an image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and a degradation image, The remainder inclination image count step which calculates the inclination image of the remainder using the convolution operation of a transposition filter and a remainder image, The program for making a computer perform the amount count step of corrections which calculates the amount of corrections of a prediction image using the inclination image of the remainder, and the renewal step of an image which corrects and updates a prediction image using the amount of corrections.

[Claim 6] The record medium which recorded the program according to claim 5 and in which computer reading is possible.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

[Field of the Invention] This invention relates degradation to a record medium at the image restoration equipment which presumes the image before degradation (restoration image) with a repeating method from a carrier beam image pick-up image and the image restoration approach, and a program list, after acquiring, the information, i.e., the degradation function, of image degradation produced in the image picturized with the digital camera etc.

**[0002]**

[Description of the Prior Art] Various techniques which restore degradation of an image are proposed to the image conventionally acquired as image data using the photo detector array object represented by CCD. An image deteriorates by blurring in the case of photography else [, such as aberration which depends on a drawing value, a focal distance, a focus location, etc. for the image which says that the image with which degradation of an image was actually obtained to the ideal image which should be obtained from the object for an image pick-up has deteriorated, for example, is obtained using a digital camera, ].

[0003] Restoration which brings the image pick-up image conventionally acquired by modeling degradation of an image close to an ideal image has been performed to such an image that deteriorated.

[0004] In case image restoration is performed, it considers that the vector and degradation function which arranged the pixel value for the image perpendicularly in order of the raster are a matrix, and is allied. - It can come back to the problem of the solution of degree equation in many cases. That is, if X and a degradation matrix are set to H and an acquisition image is set to Y for an image to restore, the relation of a "-one number" type can be filled.

**[0005]****[Equation 1]**

$$H\mathbf{X} = \mathbf{Y}$$

[0006] Or the image pick-up image Y is an image containing a noise, usually an observation error and a discretization error are included in the degradation matrix H, and the least square solution existence of a solution was guaranteed to be by the "-two number" type is calculated.

**[0007]****[Equation 2]**

$$\mathbf{H}^T \mathbf{H}\mathbf{X} = \mathbf{H}^T \mathbf{Y}$$

[0008] Both the degradation matrices H and  $\mathbf{H}\mathbf{H}^T$  turn into a large-scale sparse matrix to - \*\*.

[0009] By the way, in the case of easy degradation functions, such as the direction blurring of -, an equation can be independently formed to the pixel train of the direction of blurring, the inverse matrix of a blurring matrix can be calculated directly, and a solution can be acquired.

[0010] For example, in the case of slanting blurring, in JP,6-118468,A, coming back to the problem of a horizontal or vertical blurring is proposed by doubling the direction of an image array in the direction of blurring. Asking for an inverse matrix by which the continuity of differential is saved into the boundary part of a restoration image is also shown in that case.

**[0011]**

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the degradation function generated in actual blurring, a degradation function with which it is expressed with a complicated spiral filter as shown in drawing 16 also appears. This is produced, when photoing a night view etc., and the exposure time surely becomes long and shutter speed becomes slow. The degradation filter of drawing 16 changes into a two-dimensional filter the image degradation information presumed to be generated on 35mm (135mm conversion) of focal \*\*\*\*\*, and the photography conditions of shutter speed 1/3.

[0012] In the case of such a degradation function, it will not be easy to ask for the inverse matrix of the large-scale matrices H and HTH, and a repeating method will be used for - \*\* using the non-dense structure of a matrix. In addition, the principle of the image restoration processing by the repeating method is indicated by reference "M. Elad and A. Feuer; Super-Resolution of An Image Sequence-Adaptive Filtering Approach; Technion-Israel Institute of Technology and 4 April 1997."

[0013] the inside of a repeating method -- YAKOBI -- law, a Gauss Seidel iteration method, and SOR -- there are law, the steepest descent method, a conjugate gradient method, etc.

[0014] However, in order to refer to HT from Matrix H for every iteration, in memory consumption's increasing by any approach, time amount great for count will be spent.

[0015] It carries out this invention being made in order to solve the above-mentioned problem, and not asking for the inverse matrix of a large-scale matrix, either being able to restore a degradation image, offering the image-restoration equipment and the image-restoration approach by the repeating method of attaining reduction-izing of the memory consumption in restoration processing, and shortening of computation time moreover, and providing the record medium which recorded the program and this program which make a computer perform still such an image-restoration approach as a technical problem.

[0016]

[Means for Solving the Problem] A transposition filter count means by which the above-mentioned technical problem calculates the transposition filter of an image degradation filter, A filter storage means to memorize the transposition filter of an image degradation filter, and a remainder image count means to calculate a remainder image from an image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and a degradation image, A remainder inclination image count means to calculate the inclination image of the remainder using the convolution operation of a transposition filter and a remainder image, It is solved by the image restoration equipment by the repeating method characterized by having an amount count means of corrections to calculate the amount of corrections of a prediction image using the inclination image of the remainder, and a renewal means of an image to correct and update a prediction image using the amount of corrections.

[0017] According to this invention, the transposition filter of an image degradation filter is calculated, a remainder inclination image is called for from the convolution operation of the remainder image called for from the image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and the degradation image, and said transposition filter, and renewal of correction of a prediction image is performed from the amount of corrections of the prediction image calculated using the remainder inclination image.

[0018] Since the above images by which renewal of correction was carried out use, in being realized restoration of the degradation image which originates, for example in blurring of a digital camera etc. in the image-restoration equipment using a repeating method, while memory consumption decreases rather than it calculates depending on a large-scale matrix or an inverse matrix even when restoring an image pick-up image with the degradation function with which it can express with a complicated spiral filter from replacing by said filter operation, computation time is shortened substantially.

[0019] In the above-mentioned restoration equipment, a remainder inclination count means may use a different transposition filter to the boundary part of an image. Thereby, generating of noises, such as a ringing generated near the edge of a restoration image etc., is controlled.

[0020] In this case, the part which protruded the transposition filter in said boundary part from the degradation field may be set as zero.

[0021] Moreover, the transposition filter count step which calculates the transposition filter of an image degradation filter in case said technical problem restores degradation of an image, The filter storage step which memorizes the transposition filter of an image degradation filter, The remainder image count step which calculates a remainder image from an image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and a degradation image, The remainder inclination image count step which calculates the inclination image of the

remainder using the convolution operation of a transposition filter and a remainder image, It is solved also by the image restoration approach by the repeating method equipped with the amount count step of corrections which calculates the amount of corrections of a prediction image using the inclination image of the remainder, and the renewal step of an image which corrects and updates a prediction image using the amount of corrections.

[0022] By this image restoration approach, it is little memory consumption and a degradation image can be restored in a short time.

[0023] Moreover, the transposition filter count step to which said technical problem calculates the transposition filter of an image degradation filter, The filter storage step which memorizes the transposition filter of an image degradation filter, The remainder image count step which calculates a remainder image from an image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and a degradation image, The remainder inclination image count step which calculates the inclination image of the remainder using the convolution operation of a transposition filter and a remainder image, The amount count step of corrections which calculates the amount of corrections of a prediction image using the inclination image of the remainder, It is solved also by the record medium which was solved by the program for making a computer perform the renewal step of an image which corrects and updates a prediction image using the amount of corrections, and recorded this program and in which computer reading is possible.

[0024] A computer can be made to perform said restoration processing in these programs and record media.

[0025]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained based on a drawing.

[0026] Drawing 1 is the appearance perspective view showing the digital camera with which the image restoration equipment concerning the operation gestalt of this invention was applied, and drawing 2 is the rear view of this digital camera.

[0027] In drawing 1 and drawing 2, the taking lens 12, the finder aperture 15, the ranging aperture 101, etc. are formed in the front face of a digital camera 10, and CCD13 as an example of the image sensor which receives and carries out photo electric translation of the optical image by the above-mentioned taking lens 12 is arranged in the interior of a digital camera 10. And the image pick-up means is constituted including a taking lens 12 and CCD13.

[0028] Furthermore, the release (shutter) carbon button 14, the photography mode setting key 18, the liquid crystal panel 19, etc. are formed in the top face of a digital camera 10. The insertion opening 17 which can insert [ archive media /, such as a memory card, / 16 ] is formed in the side face of a digital camera 10.

[0029] Looking at the content of a display of a liquid crystal panel 19, further, the photography mode setting key 18 is used, in case setting out of a zoom etc. is performed, setting out of exposure conditions, such as drawing precedence and shutter speed precedence, the change of macro photography, and.

[0030] Moreover, as shown in drawing 2 R> 2, a liquid crystal display monitor 103, the image-processing setting-out key 102, etc. for a live view display are prepared in the tooth back of a digital camera 10. It combines with a liquid crystal display monitor 103, and has come to be able to perform decision of the need for image restoration processing by the image-processing setting-out key 102. This digital camera 10 can record ordinarily the image picturized by CCD13 as well as the usual digital camera on an archive medium 16. In addition to this, it has the image restoration processing facility. A digital camera 10 operates this function automatically from the acquired degradation function. Of course, you may make it a digital camera 10 make a user judge the need for image restoration processing by the image-processing setting-out key 102 before image restoration processing.

[0031] drawing 3 -- the block diagram of a digital camera 10 -- it is -- a thin arrow head -- the bold arrow of control data -- each of image data -- flow is shown.

[0032] 40 is CPU, and it displays exposure conditions etc. on a liquid crystal panel 19 while it memorizes the photography conditions at the time of a shutter release 14 being pushed, the established state of the image-processing setting-out key 102, etc. Furthermore, while CPU40 drives a taking lens 12 so that it may focus for a suitable photographic subject through the taking-lens actuator 46 based on the ranging result from the ranging section 44, it is extracted through the drawing actuator 47 and controls 48.

[0033] Moreover, the analog picture signal from CCD13 is changed into digital image data by A/D converter

41, and is stored temporarily in an image memory (RAM) 42, and the memorized image data is displayed on a liquid crystal display monitor 103 by control of CPU40.

[0034] 50 is the image restoration section which carries out restoration processing of the picturized image, and when there is the need for restoration, it restores the image memorized by RAM42. It mentions later for details.

[0035] 52 is an image degradation information bureau which receives the image degradation information acquired from the blurring sensor 104 etc., and as shown in drawing 4, it is equipped with the transposition filter storage section 201 which memorizes the transposition filter of an image degradation filter, and the transposition filter count section 202 which calculates the transposition filter of an image degradation filter.

[0036] CPU40 makes an archive medium 16 memorize the image data by which reading appearance was carried out from RAM42 when not performing restoration processing, and when performing restoration processing, it makes an archive medium 16 memorize the image restored in the image restoration section.

[0037] Said image restoration section 50 is equipped with the remainder image count section 501, the remainder inclination image count section 502, the amount count section 503 of corrections, the renewal section 504 of an image, the image degradation section 505, and the remainder calculation section 506 as functionally shown in drawing 5.

[0038] The remainder image count section 501 calculates a remainder image from said image degradation filter, prediction image of a restoration image, and degradation image, and the remainder inclination image count section 502 calculates the inclination image of the remainder using the convolution operation of said transposition filter and remainder image. The amount count section 503 of corrections calculates the amount of corrections of an image using the inclination image of the remainder, and the renewal section 504 of an image corrects the prediction image of a restoration image using the amount of corrections, and it updates. The image degradation section 505 degrades the image updated in the renewal section 504 of an image using the degradation function at the time of an image pick-up, and said remainder calculation section 506 computes the remainder of the image and image pick-up image which deteriorated.

[0039] Said CPU40 judges whether the remainder computed in the remainder calculation section 506 is less than the predetermined threshold. If not less, it is inputted into the remainder image count section 501, using the image after updating as a new processing object (prediction image). Each processing of a correction update process of the image by the remainder inclination image count section 502, the amount count section 503 of corrections, and the renewal section 504 of an image, degradation of the image by the image degradation section 505, and calculation of the remainder by the remainder calculation section 506 is made to repeat until the remainder is less than a predetermined threshold. And when the remainder is less than a predetermined threshold, the storage media 16 are made to memorize by using an updating image (prediction image) as a restoration image.

[0040] The photography and restoration processing by the digital camera 10 are performed as follows. That is, first, a user is the photography mode setting key 18, and chooses drawing precedence, shutter speed precedence, etc. After setting out of a camera finishes, a user checks a photographic subject and pushes a shutter release 14. Then, photographic subject distance is measured in the ranging section 44. Then, based on a ranging result, a taking lens 12 is driven so that a suitable photographic subject may be made to focus through the taking-lens actuator 46, subsequently, it extracts through the drawing actuator 47 and 48 is set as a suitable value. And it integrates with CCD13 and image data is read. The image data by which reading appearance was carried out is a pipelined architecture, is changed into digital data by A/D converter 41, and is memorized by RAM42 at the time of -.

[0041] The image degradation information acquired from the blurring sensor 104 grade is memorized in the filter storage section 201 of the image degradation information bureau 52.

[0042] Then, image restoration processing is performed using the image pick-up image memorized by RAM42 in the image restoration section 50.

[0043] The content of restoration processing is shown in the flow chart of drawing 6. With the following explanation and a drawing, # shows a step.

[0044] First, the image restoration section 50 is #11 and creates the image before degradation required for image restoration processing (henceforth an initial image) from the image pick-up image (henceforth an extraction image) memorized by RAM42. About creation of an initial image, although the method of performing edge enhancement filtering is adopted when the Sharp edge has deteriorated like dotage for

example, an acquisition image is not cared about as an initial image as it is, without also performing processing of what.

[0045] The initial image  $X_0(i, j)$  is degraded in #12 after initial image creation using the degradation filter  $h$  in the filter storage section 201 obtained at the time of photography, and a difference (remainder  $D_0$ ) with the extraction image  $Y(i, j)$  is computed from the following "-three number" type.

[0046]

[Equation 3]

$$D_0 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |Y(i, j) - h * X_0(i, j)|^2$$

$i, j$  : 自然数、  $M$  : 縦の画素数、  $N$  : 横の画素数

[0047] In addition, in the "-three number" type, "\*" collapses and expresses the operation.

[0048] Next, the initial image  $X_0(i, j)$  is memorized to RAM42 by #13 at the time of -.

[0049] After remainder calculation, by #14, image restoration is performed, the initial image  $X_0(i, j)$  is updated, and the new image (updating image)  $X_1(i, j)$  is created from the initial image  $X_0(i, j)$  memorized by RAM42 at the time of -, the degradation filter  $h$  obtained at the time of photography, and the extraction image  $Y(i, j)$ .

[0050] Subsequently, the remainder  $D_1$  is computed by the X following "-four number" type by #15 from 1 ( $i, j$ ), and the degradation filter  $h$  and the extraction image  $Y(i, j)$ .

[0051]

[Equation 4]

$$D_n = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |Y(i, j) - h * X_n(i, j)|^2$$

$n$  : 反復回数 ( $n = 1, 2, \dots$ )、  $i, j$  : 自然数、  $M$  : 縦の画素数、  $N$  : 横の画素数

[0052] It judges whether there is any convergence of whether several 5 relation shown below is realized in #16 and the remainder  $D_1$  that is, after calculation of the remainder  $D_1$ .

[0053]

[Equation 5]

$$D_n < K, n = 1, 2, \dots$$

$K$  は、十分小さな定数。

[0054] If there is no convergence of the remainder  $D_1$  (the judgment of #16 is NO), in order to perform repeated calculation which is the 2nd time, the initial image  $X_0(i, j)$  memorized by return and RAM42 at the time of - is deleted to #13, and the updated updating image  $X_1(i, j)$  is memorized to RAM42 at the time of -. Image restoration is performed from the updating image  $X_1(i, j)$  memorized by RAM42 at the time of -, and the degradation filter  $h$  and the extraction image  $Y(i, j)$  which were obtained at the time of photography, the updating image  $X_1(i, j)$  is updated, and the new updating image  $X_2(i, j)$  is created (#14).

[0055] Like the point, the remainder  $D_2$  is computed using the above-mentioned "-four number" type from the updating image  $X_2(i, j)$ , and the degradation filter  $h$  and the extraction image  $Y(i, j)$  (#15), and it judges whether there is any convergence of the remainder  $D_2$  from the relation of "a-five number" about the computed remainder  $D_2$  (#16). If there is no convergence of the remainder  $D_2$ , it will return to #13 and the same procedure will be manipulated again.

[0056] if there is convergence of the remainder (the judgment of #16 comes out and it is YES), in #17, it will carry out a return, using as a restoration image updating image  $X_{n-1}(i, j)$  memorized by RAM42.

[0057] The subroutine of said image restoration processing (#14) is shown in drawing 7.

[0058] In drawing 7, the remainder image  $R(i, j)$  is calculated by the "-six number" type by #21 using the present updating image  $X_n(i, j)$ , and the degradation filter  $h$  and the extraction image  $Y(i, j)$  which were memorized by the filter storage section 201.

[0059]

[Equation 6]

$$R(i, j) = (X_n * h - Y)(i, j)$$

[0060] Then, in #22, the inclination image  $G(i, j)$  is calculated by the following "-seven number" type by the convolution operation with the transposition filter  $h^t$  memorized by the remainder image  $R(i, j)$  and the filter storage section 201.

[0061]

[Equation 7]

$$G(i, j) = (R * h^t)(i, j)$$

[0062] At this time, the thing of a form which is different in the boundary part of a degradation image is used for the transposition filter which performs a convolution operation. Thus, in the boundary part of an image, generating of noises, such as a ringing generated near the edge of a restoration image etc., is controlled by using a different transposition filter.

[0063] Here, the former image of the size 7\*7 shown in drawing 8 deteriorates with the degradation filter of the size 3\*3 shown in drawing 11, and the case where it becomes the extraction image of 6\*6 shown in drawing 9 is made into an example, and it explains.

[0064] For example, in the restoration filter field of drawing 10, the transposition filter A shown in drawing 12 (A) is used. To the pixel of Y1 of the method of -, and drawing 9, the transposition filter C shown in drawing 12 (C) is adopted to the pixel of X1 of drawing 8 using the transposition filter B shown in drawing 12 (B). That is, in case you calculate by collapsing with the transposition filter A in the location from the former image field X1 of drawing 8 to X49, let the part which separates from the degradation field (from Y1 to Y25) of drawing 9 be zero.

[0065] Thus, if the part protruded from the degradation field with the transposition filter A becomes zero, the image of a non-restoring field will not receive an adverse effect.

[0066] Then, in #23, a correction image is calculated using the inclination image  $G(i, j)$  obtained by the aforementioned #22.

[0067] A correction image can consider various numerical orientation methods with the algorithm which shows the updating value for every pixel to the present updating image, and adopts it. If a former image assumes as an example that it is a smooth image except near the edge, the correction image  $D(i, j)$  will be calculated by the "-eight number" type and the "-nine number" type using the steepest descent method.

[0068]

[Equation 8]

$$D(i, j) = k(\beta \Delta * (V * (\Delta * X_n)) + G)(i, j)$$

$k$  はステップサイズと呼ばれ。

[0069]

[Equation 9]

$$k = -\frac{\|\beta \Delta * (V * (\Delta * X_n)) + G\|^2}{\beta \|\Delta X_n\|_v^2 + \|H X_n\|^2}$$

[0070] However,  $\|\cdot\|$  and  $\|\cdot\|_v^2$  are the sum of squares of each pixel value of an image, and [0071].

[Equation 10]

$$\|\cdot\|_v^2$$

[0072] The sum of squares with weight by \*\* and V is expressed, and V is a weight image showing extent of the smoothness to demand. Furthermore, delta is a partial derivation of the second floor called the Laplacian filter. Moreover, what is necessary is for beta to be a parameter showing extent of smoothness, for example, just to set it to 0.1 etc.

[0073] if a correction image is determined -- an updating image current in #24 -- if it puts in another way, the correction image  $D(i, j)$  will be added to the current prediction image  $X_n(i, j)$  of a restoration image, and it will be referred to as new updating image  $X_{n+1}(i, j)$ .

[0074] That is, it is set to  $X_{n+1}(i, j) = X_n(i, j) + D(i, j)$ .

[0075] In this way, the degradation image resulting from blurring etc. can be restored by performing repeated calculation using the corrected updating image. And even when it has the degradation function with which it can express with a complicated spiral filter from replacing by said filter operation, while memory consumption decreases as compared with what is calculated in consideration of a large-scale matrix or an inverse matrix, computation time is shortened substantially.

[0076] By the way, in said transposition filter count section 202, a transposition filter is calculated as follows.

[0077] When the former image shown in drawing 8 is changed to a column vector, it comes to be shown in drawing 15.

[0078] If the degradation filter h shown in drawing 11 is changed to a matrix, it will become the three-fold block diagonal matrix H as shown in drawing 13. Moreover, each blocks A and B and C itself are 3-fold diagonal matrices, and it has a nested structure.

[0079] Therefore, when the transposed matrix HT of the above-mentioned three-fold block diagonal matrix H is calculated, it comes to be shown in drawing 14. Accuracy can be asked for the form of a transposition filter as shown in drawing 12 from the structure of this transposed matrix HT.

[0080] In addition, although the above explanation explained as what restores an image with a digital camera 10, external instruments, such as a computer, may restore the image picturized with the digital camera etc. In this case, the program of drawing 6 and drawing 7 is read into a computer through a network or a record medium, and is executed on a computer.

[0081]

[Effect of the Invention] As mentioned above, this invention calculates the transposition filter of an image degradation filter. It asks for a remainder inclination image from the convolution operation of the remainder image called for from the image degradation filter, the prediction image of a restoration image, and the degradation image, and said transposition filter. It is made to perform renewal of correction of a prediction image from the amount of corrections of the prediction image calculated using the remainder inclination image. In realizing restoration of the degradation image which originates, for example in blurring of a digital camera etc., since an image is restored with a repeating method using this, Even when it has the degradation function with which it can express with a complicated spiral filter from replacing by said filter operation, while memory consumption is made by decreasing, the computation time for restoration processing can be shortened.

[0082] Moreover, according to the record medium which recorded the program or this program concerning this invention, a computer can be made to perform the above restoration processings.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

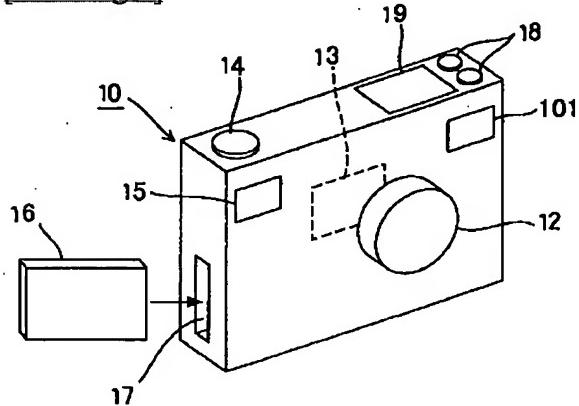
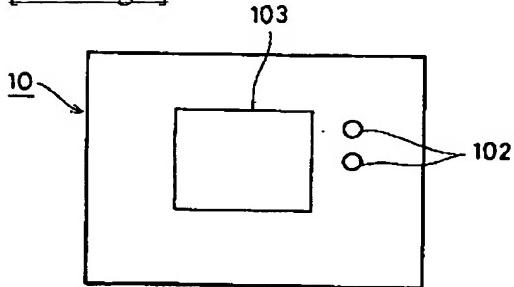
JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

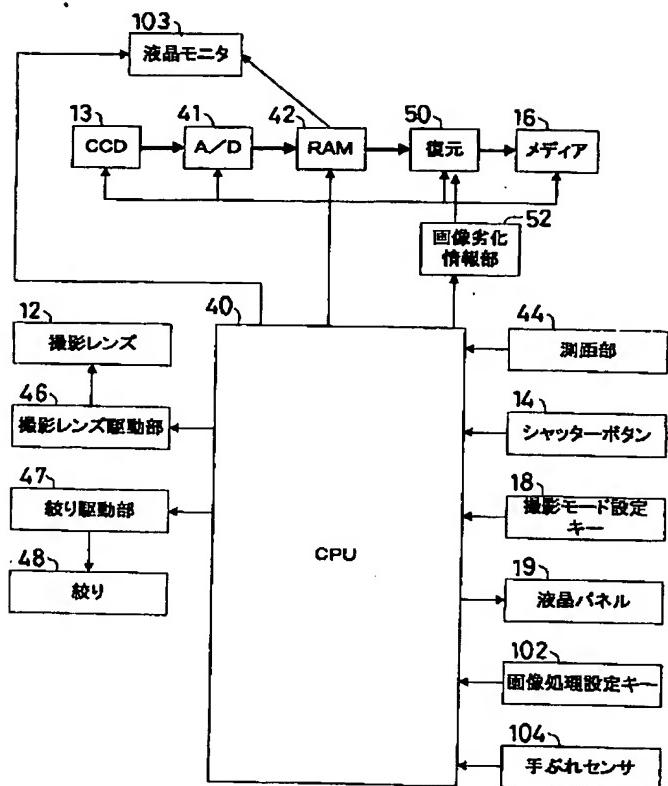
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

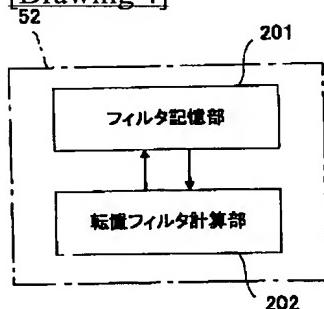
**DRAWINGS**

---

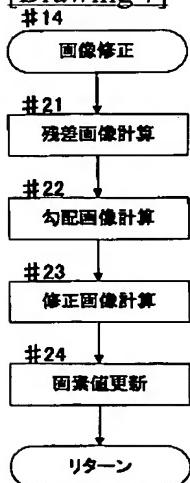
**[Drawing 1]****[Drawing 2]****[Drawing 3]**



[Drawing 4]



[Drawing 7]



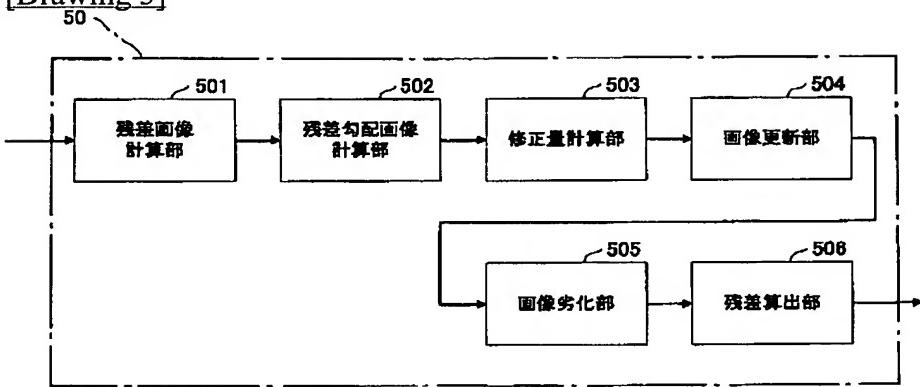
[Drawing 8]

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28
X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35
X36	X37	X38	X39	X40	X41	X42
X43	X44	X45	X46	X47	X48	X49

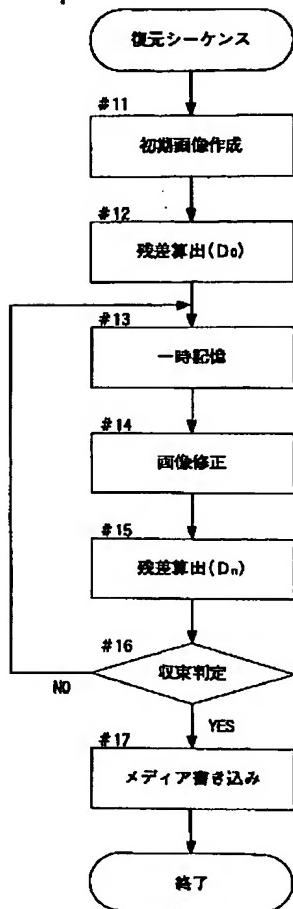
[Drawing 10]

Z1	Z2	Z3	
Z4	Y5	Z6	
Z7	Z8	Z9	

[Drawing 5]



[Drawing 6]



[Drawing 9]

Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>		
Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>		
Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	Y <sub>14</sub>	Y <sub>15</sub>		
Y <sub>16</sub>	Y <sub>17</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>19</sub>	Y <sub>20</sub>		
Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>	Y <sub>23</sub>	Y <sub>24</sub>	Y <sub>25</sub>		

[Drawing 11]

A	B	C
D	E	F
G	H	I

[Drawing 12]

I	H	G
F	E	D
C	B	A

0	0	0
0	E	D
0	B	A

0	0	0
0	0	0
0	0	A

[Drawing 13]

$$H = \begin{pmatrix} A & B & C \\ A & B & C \end{pmatrix}$$

但し、

$$A = \begin{pmatrix} a & b & c \\ a & b & c \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} d & e & f \\ d & e & f \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} g & h & i \\ g & h & i \end{pmatrix}$$

[Drawing 14]

$$H^T = \begin{pmatrix} A^T & & \\ B^T & A^T & \\ C^T & B^T & A^T \\ & & & C^T \end{pmatrix}$$

[Drawing 15]

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix}$$

[Drawing 16]

[Translation done.]